

Радиоспектрометр ЭПА-2, совмещенный с ускорителем ЭСГ-2,5

Л.В.Сериков, А.А.Васильев

(Представлена научным семинаром кафедры радиационной химии)

Кинетические исследования накопления и гибели парамагнитных частиц, образующихся при взаимодействии излучения с исследуемым соединением, а также исследования короткоживущих радикалов удобнее всего проводить непосредственно под облучением. При этом облучение рентгеновскими, γ -лучами, а также нейтронами не вызывают больших трудностей в конструкторской разработке, так как все эти виды излучения не взаимодействуют с магнитным полем спектрометра. Однако с точки зрения эффективности работы, т.е. имея в виду возможность получения значительных величин поглощенных доз за небольшой промежуток времени, целесообразнее использовать ускорители заряженных частиц (линейные ускорители, электростатические генераторы и т.д.). Нами была изготовлена экспериментальная установка, удовлетворяющая изложенным требованиям.

В качестве спектрометра использовался серийный прибор ЭПА-2, выпускаемый Ангарским ОКБ. Источником ускоренных электронов служил электростатический генератор ЭСГ-2,5, установленный в НИИ ЯФ ЭА при Томском политехническом институте.

Создание совмещенной установки ЭПА-2-ЭСГ-2,5 потребовало решения ряда задач, связанных с изменением конструкции монопровода ускорителя, стабилизацией тока электронного пучка, защиты обслуживающего персонала от воздействия ионизи-

рующего излучения и др.

Одновременно необходимо было решить некоторые конструктивные вопросы модернизации радиоспектрометра ЭПА-2. Серийный спектрометр ЭПА-2 представляет собой прибор узкоспециализированного характера, предназначенный для экспрессного анализа препаратов в промышленных условиях. В силу этого, конструкция спектрометра достаточно проста и надежна, но не позволяет использовать его в работе с электронным пучком, вводимым в резонатор. Последнее связано с малым зазором между полюсными наконечниками, недостаточным диаметром полюсных наконечников, введением высокочастотной модуляции шлейфом, а, следовательно, с недостаточной мощностью высокочастотного модулятора. Устранение вышеуказанных недостатков позволило совместить радиоспектрометр с электростатическим генератором для работы его в момент прохождения ускоренных электронов через образец.

Изменения конструкции спектрометра заключались в следующем:

Был рассчитан и изготовлен электромагнит броневого типа со следующими параметрами:

- а) индукция в зазоре — до 5000 гс,
- б) диаметр полюсных наконечников 160 мм,
- в) воздушный зазор — 35 мм.

Ярмо магнита изготовлено из стали 3, а полюса и полюсные наконечники из железа "Армко"

Для обеспечения работы сконструированного электромагнита мощность стабилизированного источника питания магнита была увеличена в пять раз.

Введение новых модуляционных катушек повлекло за собой увеличение мощности трансформатора, обеспечивающего требуемый ток модуляции.

Для удобства в работе и с целью обеспечения лучшего вывода пучка электронов на образец, магнит сделан ассиметричным, так что силовые катушки расположены на одном из полюсов.

Пучок электронов подается на образец вдоль силовых линий электромагнита через отверстия \varnothing 6 мм в центре одного из полюсов. Опыт работы [1] показал, что отверстие такого диаметра в центре полюсного наконечника незначительно сказывается на однородности магнитного поля и при ширине линий обычно исследуемых радикалов не играет существенной роли.

Необходимость количественных измерений концентраций свободных радикалов, а также возможность работы спектрометра под пучком электронов, накладывают определенные условия на выбор резонатора, ибо методика количественных измерений следующая: сигнал исследуемого образца записывается одновременно с контрольным сигналом — "боковым" эталоном, расположить который необходимо вне области действия электронного пучка. Боковой эталон служит индикатором изменения чувствительности спектрометра в процессе работы в результате различных внешних факторов.

Таким образом, требования к резонатору, обеспечивающему нормальную работу спектрометра под пучком электронов, следующие:

1. Возможность введения пучка электронов внутрь резонатора.
2. Создание достаточно однородного поля высокочастотной модуляции по всему объему резонатора (что позволило бы работать с "боковым" эталоном).
3. Возможность использования бокового эталона во время работы, не подвергая его действию излучения.
4. Возможность размещения резонатора в воздушном зазоре электромагнита, который должен быть достаточно узким для уменьшения пробега электронов в воздухе.

Исходя из приведенных требований, был выбран прямоугольный резонатор с типом колебаний H_{104} и системой ввода высокочастотной модуляции, подобной используемой в серийном спектрометре РЭ 1301 [2]. Питание высокочастотного контура осуществляется через усилитель мощности, запускаемый

от модулятора ЭПА-2. Усилитель мощности собран на двух лампах ГУ-50, конструктивно выполнен в виде отдельного блока и расположен в непосредственной близости от резонатора.

Принципиальная схема усилителя мощности изображена на рис. 1.

Расчет резонатора проводился по общепринятой методике [3], изготовлен он из латуни с последующим шлифованием внутренней поверхности и посеребрен. В узкой стенке резонатора имеются два отверстия для введения исследуемого образца и бокового эталона.

Отверстие в широкой стенке служит для введения пучка электронов. Благодаря щели в широкой стенке резонатора, сам резонатор представляет собой виток индуктивности, включенный параллельно емкости, и образует колебательный контур, который служит нагрузкой модулятора и настроен на частоту — 1 МГц.

Щель и отверстие в широкой стенке резонатора незначительно влияют на рабочую частоту и добротность резонатора, так как при данном типе волны (H_{10}) резонатор не критичен к размерам по оси y .

Размеры наплывов с узкой стороны выбраны таким образом, чтобы погасить излучение через отверстие. Величина наплывов дается условием [4]:

$$h \geq \frac{1}{2} \lambda_{кр},$$

где h — высота наплыва,

$\lambda_{кр}$ — критическая длина волны резонатора.

Для расширения фронта работы ускорителя была предусмотрена разводка пучка электронов по трем каналам. Из экономических соображений электромагнит спектрометра установлен на одном из боковых каналов.

Система разводки пучка своим верхним флянцем крепится к вакуумной системе ускорителя. Пучок электронов через непровод попадает в камеру, где под действием внешнего

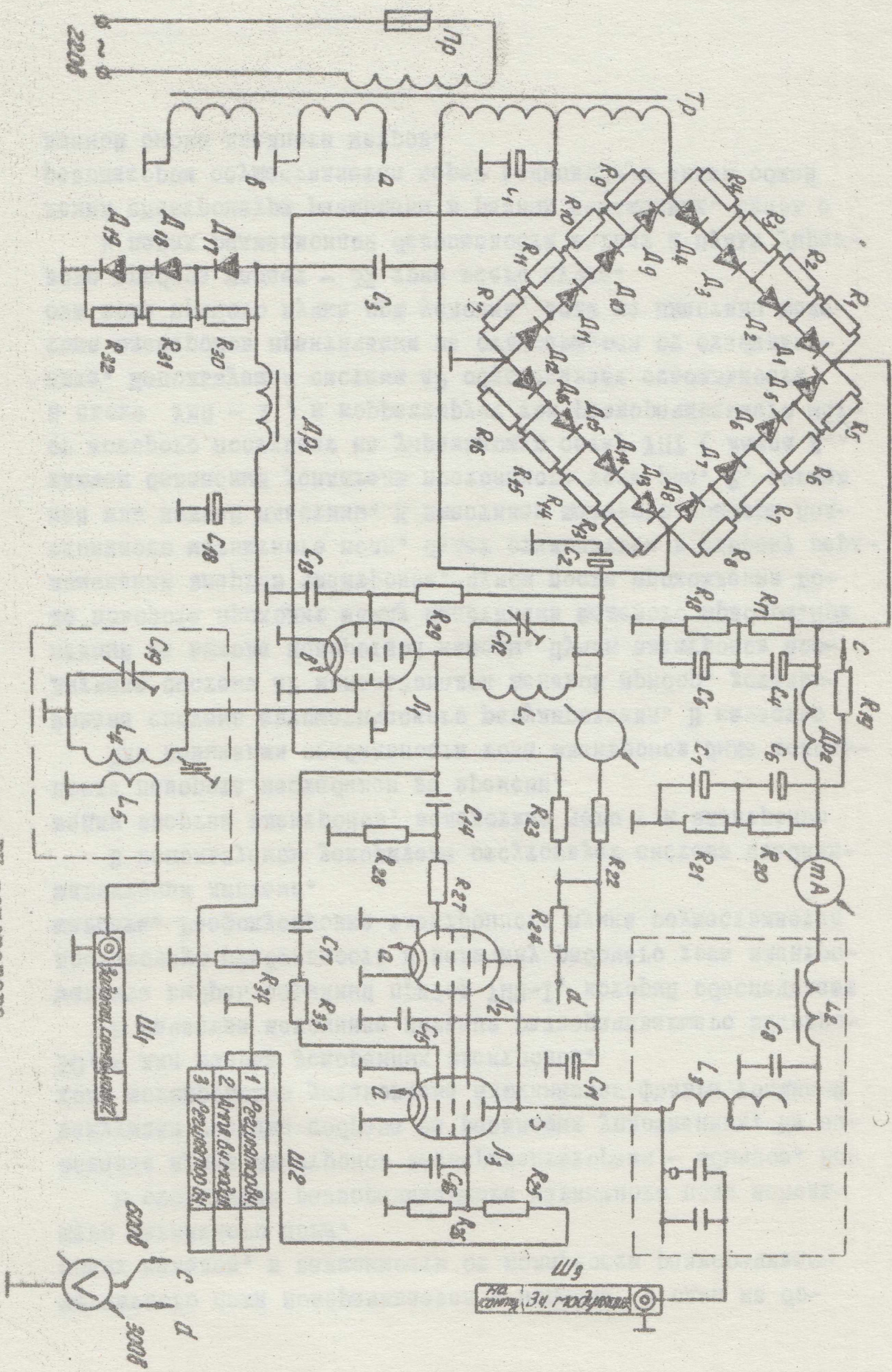


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя мощности ВЧ генератора.

магнитного поля поворачивается и попадает в один из боковых каналов, в зависимости от полярности разворачивающего магнитного поля.

В отсутствие разворачивающего магнитного поля использование пучка электронов экспериментаторами — обычное. Вся вакуумная система собрана на резиновых уплотнениях. На выходе ионопроводов установлена алюминиевая фольга толщиной 50 мк для вывода ускоренных электронов.

В качестве источника питания разворачивающего электромагнита выбран серийный прибор УИП-I, который обеспечивает достаточную стабильность и величину рабочего тока электромагнита. Расфокусировка электронного пучка осуществляется магнитными линзами.

В используемом ускорителе отсутствует система стабилизации энергии электронов, вследствие чего ток электронов после поворота нестабилен во времени.

Для повышения стабильности тока электронов была использована система автоматического регулирования. В качестве датчика системы АР использовался целевой прибор, установленный на выходе поворотной камеры. Пучок электронов после поворота проходит между пластинами целевого прибора. При изменении энергии электронов, пучок после прохождения постоянного магнитного поля, будет отклоняться в сторону верхней или нижней пластины. К пластинам целевого прибора подключен балансный усилитель постоянного тока рис. 2, сигнал от которого поступает на управляющую сетку УПТ (лампа Л₁₂ в схеме УИП - I) и корректирует ток разворачивающего магнита. Используемая система АР обеспечивает стабильность тока электронов практически не отличающуюся от стабильности тока прямого пучка при условии, если на пластины целевого прибора падает ~ 3% тока всего пучка.

В целях радиационной безопасности магнит и пульт управления спектрометра размещены в разных помещениях. Связь с резонатором осуществляется через волноводную линию общей длиной около двадцати метров.

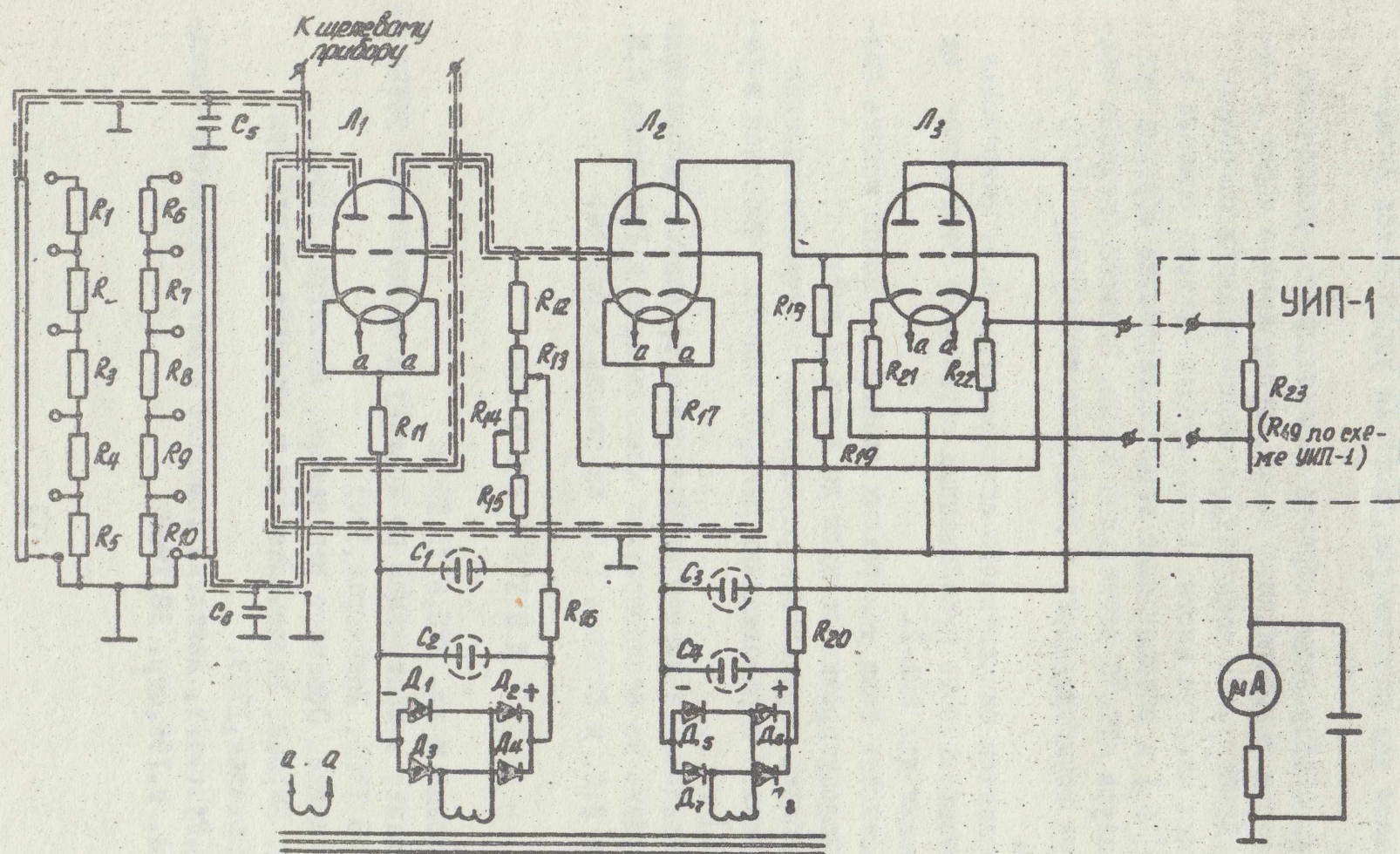


Рис.2. Принципиальная схема УПТ.

Непосредственно в зоне действия излучения находится лишь магнит, резонатор и усилитель мощности модулятора. Начало облучения осуществляется открытием заслонки, расположенной над резонатором, которая управляется дистанционно.

Термостатирование образца осуществляется помещением его в струю газообразного азота, продуваемого через резонатор. Необходимая температура обеспечивалась скоростью испарения жидкого азота. Используемая система описана в работе [5] и обеспечивает термостатирование образца при температуре -196°C длительное время. Плавное введение температуры осуществлялось в диапазоне температур $-180^{\circ}\text{C} \div +200^{\circ}\text{C}$.

Параметры совмещенного спектрометра, т.е. разрешение и чувствительность существенным образом не отличаются от паспортных для ЭПА-2.

Плотность тока ускоренных электронов можно менять системой дефокусировки от нуля до $2 \text{ мкА} / \text{см}^2$.

Методика определения радиационно-химических выходов образующихся парамагнитных центров подобна описанной в работе [1] .

В заключении авторы благодарят сотрудников лаборатории Н.Я. Бубена за неоднократные консультации и Руколеева С.И. Ширяева В.В. и Зингера Г.В. за помощь в работе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю. Молин и др. ПТЭ, 6, 73, 1960.
2. Описание и инструкции по монтажу и эксплуатации установки РЭ 1301, Ленинград, 1963.
3. А.А. Лапис. Объемные резонаторы, Ленинград, 1954.
4. Я.Д. Ширман, Радиоволноводы и объемные резонаторы, Связьиздат, 1959.
5. С.И. Руколеев, Известия Томского политехнического института, т. 199, стр. 38, 1969.